

Desarrollo Histórico de los Tubos de Calor y sus Aplicaciones

César Rosas Zumelzu
cesar.rosas@usach.cl

Académico del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Santiago de Chile, Ingeniero Civil Mecánico y Master en Ciencia. Investigador en el área de termofluidos (mecánica de fluidos, transferencia de calor, generación y transporte de energía térmica).



Nelson Moraga, Valeri Bubnovich y Mario Letelier

Resumen

Los tubos de calor son dispositivos que se caracterizan por tener una gran conductancia térmica, lo que los hace muy efectivos para el transporte de calor a grandes distancias con una muy pequeña caída de temperatura. Tienen una excepcional flexibilidad, son de construcción simple, de fácil control, y son de funcionamiento pasivo, no necesitan de potencia externa. La base teórica del funcionamiento de los tubos de calor tiene sus fundamentos en varias disciplinas clásicas como son: la mecánica de fluidos, transferencia de calor y termodinámica. El concepto de tubo de calor data desde 1944. Sin embargo, sus primeros desarrollos se iniciaron sólo el año 1964; impulsados principalmente por requerimientos de los programas espaciales que en esa época se llevaban a cabo. Precisamente, una de las primeras aplicaciones de los tubos de calor fue en satélites, donde se utilizaron como dispositivos para uniformar la distribución de temperaturas en su estructura, es decir, para transferir calor desde la zona expuesta al sol a la no expuesta, con el objeto de minimizar sus tensiones térmicas. Posteriormente, lentamente primero, se empezaron a desarrollar aplicaciones terrestres. En la actualidad, dados las amplias áreas de aplicación que se han descubierto, prácticamente todos los países desarrollados están involucrados en la investigación, desarrollo y comercialización de tubos de calor. Se vislumbra que este interés se mantendrá en el futuro; particularmente impulsado por la miniaturización de los sistemas en el campo de la electrónica, donde los problemas de disipación de calor no pueden ser resueltos utilizando sistemas convencionales.

Antecedentes generales

En los diferentes campos del quehacer del hombre el transporte de calor ha sido, es y seguirá siendo, un tema de permanente interés. Entre los diversos tipos de sistemas conocidos para el transporte de calor, el tubo de calor, cuyo término en inglés es "heat pipe", es uno de los más eficientes. La principal ventaja de usar un tubo de calor, respecto a otros métodos convencionales, es la gran cantidad de calor que puede ser transportado a través de un dispositivo de pequeña sección transversal, a una distancia considerable en forma pasiva, es decir, sin necesidad de usar una fuente de energía externa al

sistema. Otras ventajas sobresalientes son la simplicidad de diseño y fabricación, la pequeña caída de temperatura entre sus extremos, y la habilidad para controlar y transportar grandes cantidades de calor a diferentes niveles de temperatura.

El precursor del tubo de calor, el tubo de Perkins, fue introducido por la familia Perkins desde mediados del siglo XIX hasta el siglo XX a través de una serie de patentes en el Reino Unido. La mayoría de los tubos de Perkins pueden ser considerados como tubos de calor sin "mecha" y asistidos por el campo gravitacional, los que a

su vez son definidos como termosifones, en los cuales la transferencia de calor es realizada por el cambio de fase de líquido a vapor (calor latente de evaporación) de un fluido de trabajo. El diseño del tubo de Perkins más cercano al actual tubo de calor fue patentado por Jacob Perkins (1836). Este diseño consistió en un tubo cerrado conteniendo una pequeña cantidad de agua operando como un ciclo de dos fases.

La introducción del concepto de "heat pipe" fue primero concebida por Gaugler (1944) de la General Motors Corporation en U.S.A., patente N° 2350348. Gaugler, quien en ese entonces estaba trabajando en problemas de refrigeración, visualizó un dispositivo que podía evaporar un líquido en una región ubicada sobre el lugar donde la condensación podía ocurrir sin requerimiento de trabajo adicional para transportar el líquido a la sección más alta. Su dispositivo consistió de un tubo cerrado en el cual el líquido absorbe calor en una zona específica causando la vaporización del líquido. El vapor entonces viaja hacia abajo a lo largo del tubo donde él se condensa en otra sección y libera su calor latente. Después de esto el condensado retorna hacia arriba del tubo por presión capilar para reiniciar el proceso.

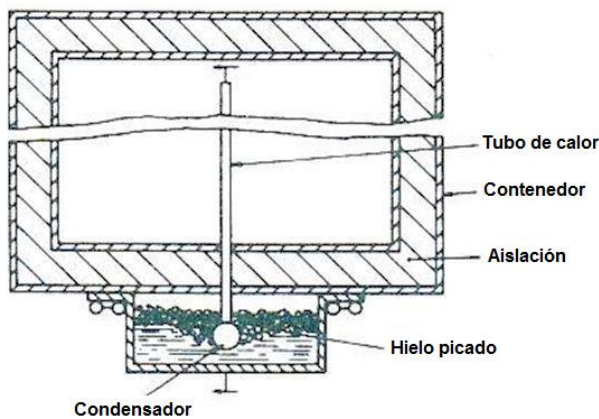


Fig. 1 Unidad de refrigeración diseñada por Gaugler, patente publicada en 1944 (Dunn and Reay, 1994)

Para retornar el condensado a la sección más alta, Gaugler sugirió el uso de una estructura capilar consistente de una "mecha" de acero sinterizado. La unidad de refrigeración propuesta por Gaugler es mostrada en la figura 1, la cual consistió en el uso de un tubo de calor para transferir el calor desde el interior del compartimiento de un refrigerador hacia una bandeja con hielo triturado, ubicada debajo del compartimiento. Sin embargo, su idea no fue usada por General Motors.

En 1962, Trefethen (1962) retomó la idea del tubo de calor en conexión con el programa espacial. Desarrollos serios se iniciaron en 1963 cuando el tubo de calor fue independientemente reinventado, y una patente de aplicación fue solicitada por Grover, quien trabajaba para Los Alamos National Laboratory, en Nuevo Mexico, U.S.A.. Grover et al. (1964) y Grover (1966) construyeron varios prototipos de tubos de calor, el primero de los cuales usaba agua como fluido de trabajo y pronto fue seguido por otro que usaba sodio, el cual operaba a 1100 K.

Grover también demostró la efectividad y el alto rendimiento del tubo de calor como dispositivo de transmisión de calor y desarrolló aplicaciones para su uso. En una patente norteamericana de aplicación, solicitada por Grover et al. (1964), a nombre de la Comisión de Energía Atómica de U.S.A. en el mismo año, Grover (1966), acuñó el término "heat pipe" y describió un dispositivo casi exactamente en la misma forma que lo hizo Gaugler, declarando: "Con ciertas limitaciones en la forma de uso, un "heat pipe" puede ser considerado como una estructura sinérgica de ingeniería, la cual es equivalente a un material que tiene una conductividad térmica que excede con creces la de cualquier metal conocido". En esa patente se incluye un análisis teórico muy limitado de los tubos de calor, pero se entregan resultados experimentales obtenidos en tubos de calor de acero inoxidable, incorporando una "mecha" de malla, y usando sodio, plata y litio como fluidos de trabajo.

El reconocimiento de un tubo de calor como dispositivo térmico confiable se debió inicialmente a los resultados teóricos preliminares, y a herramientas de diseño, informadas en la primera publicación sobre análisis de tubos de calor realizada por Cotter (1965). Inmediatamente después de esta publicación la investigación sobre

el tema comenzó a desarrollarse a través del mundo. El United Kingdom Atomic Energy Laboratory en Harwell comenzó experimentando con tubos de calor de sodio para uso como diodos convertidores termoiónicos.

Además, científicos comenzaron a conducir trabajos similares en el Joint Nuclear Research Center, en Ispra, Italia, el cual pronto llegó a ser el centro de investigación más activo, fuera de U.S.A. Poco tiempo después otros países, tales como Alemania Francia y la ex URSS iniciaron esfuerzos al respecto.

En 1964, la RCA fue la primera organización comercial en llevar a cabo investigación sobre tubos de calor. La mayor parte de su primer soporte financiero provino de un contrato por dos años con el Gobierno de U.S.A. Se construyeron tubos de calor usando contenedores de cobre, níquel, acero inoxidable y molibdeno; como fluidos de trabajo se usó agua, cesio, litio y bismuto. A través de este trabajo experimental se alcanzó una temperatura máxima de operación del orden de 1923 K.

Los primeros desarrollos de aplicaciones terrestres de los tubos de calor sucedieron a paso lento. Puesto que los tubos de calor pueden operar en campos de microgravedad debido a la acción capilar, sin ningún campo de fuerzas externo o sistema de bombeo, la mayoría de los esfuerzos estuvieron dirigidos hacia las aplicaciones espaciales. Sin embargo, debido al alto costo de la energía, especialmente en Japón y Europa, la comunidad industrial comenzó a apreciar las cualidades de los tubos de calor y termosifones en el ahorro de energía, como también en la mejora del diseño en diversas aplicaciones. Actualmente, todos los países desarrollados están involucrados en la investigación, desarrollo y comercialización de tubos de calor.

En relación a la literatura publicada sobre tubos de calor, existen: textos clásicos, entre los que destacan Chi, 1976; Dunn and Reay, 1982; Ivanovkii et al., 1982 y Faghri, 1995. La publicación de los Proceedings of International Heat Pipes Conference que se han realizado periódicamente desde 1973 a la fecha en diversos países del mundo (1^{ra}, Stuttgart 1973; 2^{da}, Bologna 1976; 3^{ra}, Palo Alto 1978; 4^{ta}, Londres 1981;...). Adicionalmente existe un gran número de archivos de publicaciones y reportes, indexados y no indexados, en las últimas tres décadas.

Una significativa cantidad de investigación básica y aplicada ha sido desarrollada desde 1985 en el área de los tubos de calor y termosifones debido al gran potencial de uso de estos sistemas.

Principio de operación

La operación de un tubo de calor es fácilmente entendible usando la geometría cilíndrica, que es la más común, tal como se muestra en la figura 2. Los componentes de un tubo de calor son un contenedor sellado de pared tubular y cabezales en los extremos, una estructura porosa (mecha), y una pequeña cantidad de fluido de trabajo, el cual se encuentra en equilibrio con su propio vapor.

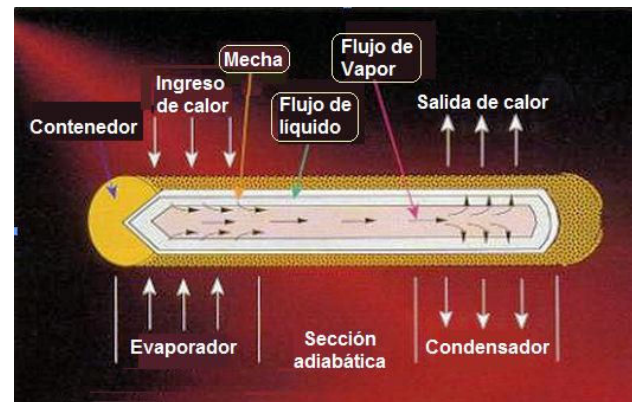


Fig.2. Componentes y principio de operación de un tubo de calor convencional

(Google<www.wahchang.com/.../11_02_files/image020.jpg>)

La longitud del tubo de calor es dividida en tres partes: Una sección que trabaja como evaporador, una sección de transporte adiabático, y una sección que trabaja como condensador.

Un tubo de calor puede tener múltiples fuentes o sumideros de calor, con o sin secciones adiabáticas, dependiendo de su aplicación y diseño específicos. El calor aplicado a la sección del evaporador por medio de una fuente externa es conducido a través de la pared del contenedor y de la estructura porosa, donde éste vaporiza al fluido de trabajo.

La presión de vapor resultante conduce el vapor a través de la sección adiabática hacia el condensador, donde el vapor se condensa liberando su calor latente de

vaporización al sumidero de calor provisto. La presión capilar creada por el menisco en la mecha, bombea el fluido condensado de vuelta a la sección del evaporador.

Por lo tanto, el tubo de calor puede transportar continuamente el calor latente de vaporización desde la sección del evaporador hacia la sección del condensador. Este proceso se desarrolla continuamente mientras exista suficiente presión capilar para conducir el condensado de vuelta al evaporador.

Principales tipos de tubos de calor

Los tubos de calor han sido diseñados y construidos en tamaños tan pequeños como de sección transversal de 0,6 mm x 0,6 mm y 25 mm de longitud (micro tubos de calor), y tan grandes como de 100 m de longitud.

Todos los tubos de calor funcionan sobre la base del mismo principio, tienen una estructura similar y el fluido de trabajo es usualmente recirculado por fuerzas capilares mediante una mecha. Sin embargo, para retornar el condensado desde el condensador al evaporador, también pueden usarse fuerzas gravitacionales, centrífugas, electroestáticas y osmóticas. Esto significa que existen muchas configuraciones de tubos de calor para diferentes aplicaciones. Los contenedores de los tubos de calor son generalmente cilindros circulares, por simplicidad de diseño y construcción. Sin embargo han sido estudiadas otras formas, tales como geometrías rectangulares (tubos de calor de placa plana), cónicas (tubos de calor rotacionales), y redondeadas (tubos de calor con borde de ataque). A continuación se describen algunas configuraciones típicas de tubos de calor:

Termosifón cerrado de dos fases

Un termosifón cerrado es un tubo de calor sin mecha asistido por el campo gravitacional. La sección del condensador está sobre el evaporador, de tal manera que el condensado es retornado al evaporador por efecto del campo gravitacional, tal como se muestra en la figura 3. La operación de un termosifón es sensible al volumen de carga del fluido de trabajo. Para termosifones sin mecha, ha sido demostrado experimentalmente que la tasa máxi-

ma de transferencia de calor se incrementa con la cantidad de fluido de trabajo hasta un determinado valor.

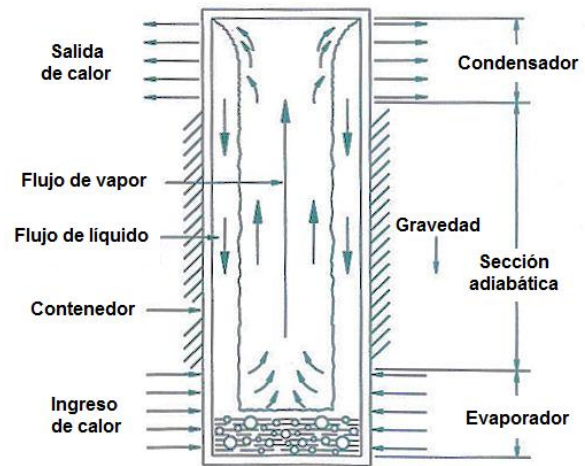


Fig. 3. Termosifón cerrado de dos fases (Faghri, 1995)
Tubo de calor con transporte capilar

Tubo de calor con transporte capilar

Un tubo de calor con transporte capilar consiste de un contenedor sellado en el cual una mecha es colocada sobre su pared interior, tal como se muestra en la figura 2. El propósito de la mecha es proporcionar el bombeo capilar para retornar el condensado a la sección del evaporador. Una cantidad suficiente de fluido de trabajo debe ser colocada dentro del contenedor para saturar la mecha con líquido. La operación de estos dispositivos es como se describe a continuación: El calor que entra a la sección del evaporador evapora el líquido que se encuentra en la mecha, el vapor producido ocupa el espacio central y viaja hacia la sección del condensador debido a la alta presión de vapor en el evaporador, la extracción de calor desde el condensador produce la condensación del vapor liberando su calor latente de vaporización, el condensado es entonces bombeado de retorno a la sección del evaporador por la fuerza capilar generada en la interfase líquido-vapor de los poros de la mecha. Debido a la naturaleza bifásica del tubo de calor, éste es ideal para transferir calor a grandes distancias con una pequeña caída de temperatura.

Tubo de calor de placa plana

El tubo de calor de placa plana es de transporte capilar, es de forma rectangular con una pequeña razón de aspecto, como se muestra en la figura 4. Bloques adicionales de mechas entre el evaporador y condensador ayudan al retorno del condensado, especialmente cuando el condensador está debajo del evaporador en el campo gravitacional. Si el condensador está sobre el evaporador no es necesaria la mecha en la sección del evaporador, puesto que el condensado desde la placa superior caerá por efecto de la gravedad, de retorno al evaporador.

Una mecha es necesaria sobre la sección del evaporador, sin embargo, en orden a distribuir uniformemente el líquido sobre la superficie completa, para así prevenir el secado.

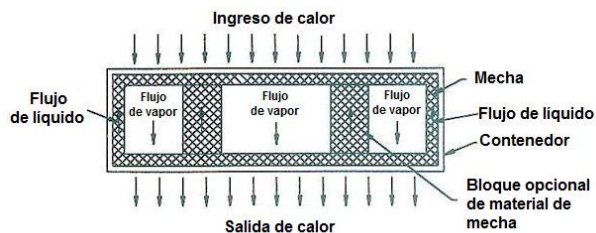


Fig.4. Tubo de calor de placa plana (Faghri, 1995)

Tubo de calor rotacional

Los tubos de calor rotacionales pueden ser diseñados en dos configuraciones. Primero, el tubo de calor puede ser en forma de cilindro circular, con o sin estrechamiento axial, el cual rota, ya sea alrededor de su propio eje de simetría o de un eje externo. En segundo lugar, el tubo de calor puede ser manufacturado en la forma de un disco, donde dos discos paralelos son ensamblados para formar el espacio de vapor, como se muestra en la figura 5. Los tubos de calor rotacionales cilíndricos operan en la misma forma que los tubos de calor cilíndricos convencionales, excepto que los estrechamientos internos son comúnmente usados para ayudar el retorno del condensado al evaporador por efecto centrífugo.

En los tubos de calor en forma de disco el calor

es ingresado a nivel del radio exterior y extraído a nivel del radio interior, lo cual permite que el condensado sea realimentado al evaporador por efecto centrífugo. En este tipo de tubos de calor no se utilizan mechas.

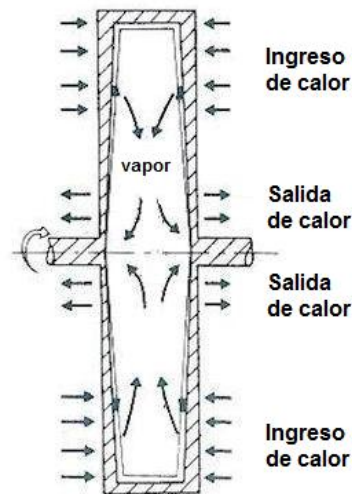


Fig. 5. Tubo de calor rotacional en forma de disco (Dunn and Reay, 1994)

Tubo de calor cargado con gas

Los tubos de calor cargados con gas son dispositivos de conductancia variable y son análogos a los tubos de calor con transporte capilar, o a los termosifones de dos fases, excepto que un gas no condensable es introducido en el espacio ocupado por el vapor, tal como se muestra en la figura 6.

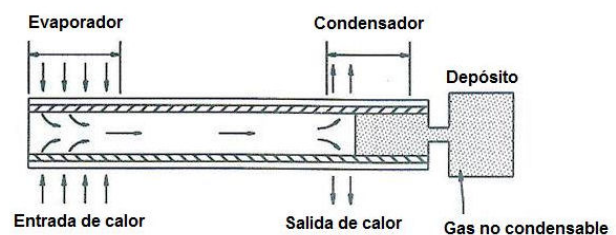


Fig. 6. Tubo de calor de conductancia variable, cargado con gas (Faghri, 1995)

Durante la operación el gas es confinado por acción del vapor en el extremo de la sección del condensador. Debido a que la condensación del fluido de trabajo no tiene lugar en la sección ocupada por el gas no condensable, esta sección queda bloqueada para transferir calor al sumidero de extracción.

Si el calor suministrado en la sección del evaporador aumenta, la temperatura del vapor se incrementa, lo cual provoca la compresión del gas inerte, lo que a su vez aumenta la sección del condensador disponible para transferir calor. Este comportamiento significa que un tubo de calor cargado con gas inerte permite mantener prácticamente constante la temperatura del evaporador cualquiera sea el calor suministrado.

Aplicaciones de los tubos calor

Los tubos de calor han sido aplicados en muchas formas desde su desarrollo en 1964. Dependiendo de su aplicación específica los tubos de calor pueden operar en un rango de temperaturas que va desde los 4 a los 3000 K. Sus aplicaciones pueden ser divididas en tres categorías principales: separación de la fuente y sumidero de calor, igualación de temperatura y control de temperatura. Debido a su extremadamente alta conductancia térmica, los tubos de calor pueden transportar eficientemente calor desde una fuente concentrada a un sumidero montado remotamente. Esta propiedad los habilita para extraer calor, por ejemplo, desde un conjunto compacto de elementos electrónicos sin que se requiera un espacio para disponer un sumidero de calor. Otro beneficio de la alta conductancia térmica es la habilidad de proveer un método de igualación de temperaturas; por ejemplo, un tubo de calor montado entre dos caras opuestas de un satélite, permite que ambas caras mantengan una temperatura igual y constante, minimizando así los esfuerzos térmicos. El control de temperaturas es el resultado de la capacidad de los tubos de calor para transportar grandes cantidades de calor muy rápidamente; esta característica permite a una fuente de calor de flujo variable mantener

una temperatura constante aunque el flujo de calor tome valores extremos dentro del rango de operación del tubo de calor.

Aplicaciones aeroespaciales

Los tubos de calor son dispositivos muy atractivos en el área de refrigeración de naves espaciales y estabilización de temperaturas debido a su bajo peso, nula necesidad de mantenimiento y fiabilidad (Alario, 1984). La distribución uniforme de temperaturas en la estructura es un importante problema relacionado con experimentos de astronomía orbital debido a posibles deformaciones por calentamiento solar.

Durante la orbitación, un observatorio es fijado hacia un punto específico del espacio, tal como una estrella. Esto significa que un lado de la capsula estará expuesta a una intensa radiación solar, mientras que la opuesta estará expuesta a la oscuridad. Se usan tubos de calor para transportar calor desde el lado irradiado por el sol hacia el lado frío, con el objeto de igualar la temperatura de la estructura, tal como se muestra en la figura 7. También se usan tubos de calor para disipar el calor generado por componentes electrónicos en satélites.

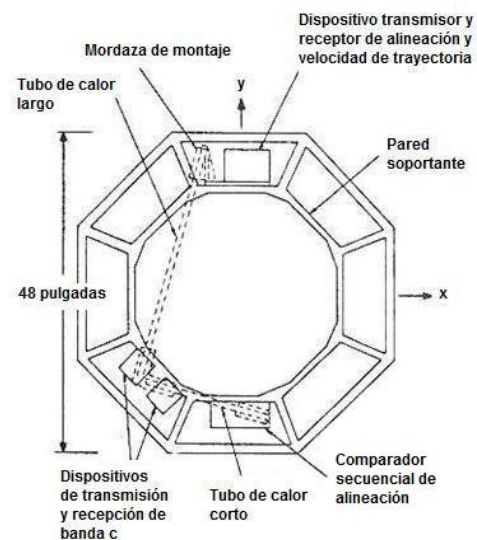


Fig. 7. Tubos de calor usados en el satélite GEOS-B (Dunn and Reay, 1994)

Aplicaciones en la refrigeración de dispositivos eléctricos y electrónicos

La miniaturización de componentes electrónicos está acompañada por la creciente demanda de sistemas de disipación de calor, debido a la creciente densidad de componentes. Por ejemplo, el computador digital ha evolucionado desde un sistema de uso masivo, que ocupaba un gran espacio, como puede ser una habitación completa, a unidades personales que pueden ser instaladas en pequeños compartimentos, como son los notebook, en los cuales los problemas de sobrecalentamiento asociados a la generación de calor y a la alta densidad de elementos, como ocurre en los chips de circuitos integrados usados en estos computadores, son bastante serios. Considerando que la fiabilidad de éstos, y otros componentes electrónicos, son altamente sensibles a la temperatura de operación, se han introducido importantes innovaciones tecnológicas para mejorar la disipación de calor; entre otras, se encuentra el uso de tubos de calor (Vasiliev et al., 1990), como se muestra en la figura 8.



Fig. 8. Tubos de calor aplicados en la refrigeración de una placa madre.

(Google < www.images.tomshardware.com/.../ga-p35t-dq6_sink.jpg>)

Mientras la miniaturización no es un factor significativa en componentes eléctricos de gran escala, la aplicación de tubos de calor en esta área es importante debido al incremento en eficiencia cuando los componentes operan a bajas temperaturas. Se han diseñados motores

eléctricos que incorporan tubos de calor en el rotor para refrigerarlo durante su operación. Otro diseño reemplaza el eje sólido del motor por un eje-tubo de calor rotativo con un estrechamiento interno para refrigeración.

Estos diseños extraen calor desde el interior del motor eléctrico, de tal manera que los cojinetes trabajan a baja temperatura; por otro lado, considerando que la resistencia de los conductores eléctricos decrece con la temperatura, se necesita menor potencia para mantener una carga específica, lo cual en conjunto incrementa su eficiencia. Similarmente, se han diseñado transformadores eléctricos con sistemas de refrigeración, que incorporan tubos de calor para mejorar la extracción del calor generado por las pérdidas eléctricas y así reducir su temperatura de operación, con lo cual se incrementan la carga que puede soportar y su eficiencia.

Aplicaciones en herramientas de producción

Una importante aplicación de tubos de calor existe en el campo de moldes de fundición y moldes de inyección (Reay, 1977). El uso más común de tubos de calor en este campo es la extracción de calor durante el proceso de solidificación. Sin embargo, también son usados para minimizar el impacto térmico en matrices. En el proceso de fundición un material fundido es introducido en una cavidad cerrada del molde, este material es enfriado hasta que se solidifica, la pieza obtenida es removida y el proceso se repite. Una importante consideración es el tiempo requerido para que el material se enfríe hasta solidificarse, por lo cual la mayoría de los moldes son enfriados por agua.

Muchas veces es difícil enfriar las partes menos accesibles del molde, así los tubos de calor son apropiados para enfriar dichas secciones. Los tubos de calor también pueden ser usados, aprovechando su reversibilidad natural, para precalentar el molde, y así asegurar el flujo continuo de material fundido hacia todas las cavidades del mismo.

Aplicaciones en medicina y control de temperatura corporal

En el campo de la medicina los tubos de calor han sido usados en fisiología humana. Una sonda quirúrgica, a la cual se le incorpora un tubo de calor criogénico ha sido usada para destruir tumores en el cuerpo humano (Basiulis, 1976). Este tipo de cirugía, donde el tejido es congelado en vez de ser irradiado, es beneficioso porque el tejido adyacente se mantiene prácticamente sin daño. Por otro lado la cirugía provoca muy poco sangramiento y dolor.

Otra aplicación de tubos de calor relacionada con humanos es el control de temperatura corporal (Faghri, 1993). En situaciones donde el hombre está expuesto a temperaturas extremas, tal como es el caso de los trabajadores en las regiones polares, o de los trabajadores de fundiciones y bomberos, se producen efectos adversos para la salud.

El congelamiento de las extremidades en regiones frías y la deshidratación en ambientes a alta temperatura son problemas muy serios, que deben ser manejados con extremo cuidado.

El problema de congelamiento puede ser evitado mediante el uso de guantes, como los que se muestran en la figura 9, soquetes y trajes en los cuales se instalan tubos de calor con el objeto de transferir calor hacia, o desde, partes del cuerpo. En climas fríos los tubos de calor pueden transportar calor desde el torso hacia las partes más sensibles de las extremidades, tales como dedos de manos y pies, para prevenir el congelamiento.

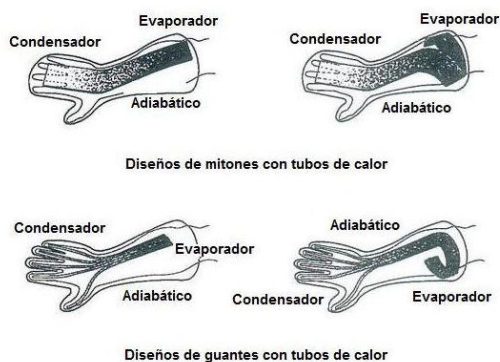


Fig. 9. Guantes diseñados con tubos de calor para evitar el congelamiento de los dedos (Faghri, 1995)

Aplicaciones en colectores solares

Dados los crecientes costos de la energía, existe a nivel mundial gran interés en utilizar cada vez más fuentes de energías renovables, y alternativas a las convencionales. Dentro de éstas la energía solar, caracterizada por la radiación solar, ocupa un lugar destacado. La energía solar térmica, es decir la que se convierte en calor, tiene múltiples aplicaciones, tanto a nivel residencial como industrial. Para capturar esta energía se utilizan diferentes tipos de colectores solares, los cuales se clasifican en colectores planos y colectores concentradores.

En cada uno de estos tipos se pueden utilizar, con ventaja, tubos de calor como dispositivo de transporte de la energía capturada (calor) hacia el medio receptor (un líquido o gas) de dicha energía.

En la figura 10 se muestra un colector plano de avanzada tecnología, el cual está configurado por una serie de tubos transparentes de doble pared y con un alto vacío en el espacio anular. En el interior de cada tubo transparente se aloja la sección del evaporador de un tubo de calor, cuyo condensador se inserta dentro de una tubería matriz por la que circula un líquido que recibe el calor transportado por el tubo de calor.

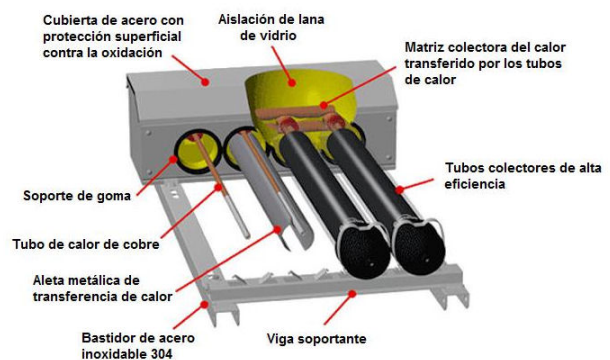


Fig.10. Colector solar con tubos de calor como dispositivos de transporte de energía térmica.

(Google <www.aguacalientegratis.eu/assets/evacuatedSolarHotWatersection.jpg>)

Comentario final

Los tubos de calor son un ejemplo claro de lo que muchas veces ocurre en el proceso de creación de nuevos conocimientos, esto es, en el momento que éstos son desarrollados no se visualizan en forma inmediata aplicaciones específicas, sin embargo, con el correr del tiempo se descubren sus potencialidades. Así es que, desde que se generó el concepto de tubo de calor (heat pipe), hasta que se desarrollaron sus primeras aplicaciones, las cuales básicamente estuvieron orientadas al área aeroespacial, transcurrieron algo más de dos décadas. Después, lentamente en un comienzo, se empezó a visualizar aplicaciones a nivel terrestre, y en las últimas décadas su desarrollo ha ido incrementándose paulatinamente. Tal es así, que en la actualidad, dados los amplios campos de aplicación que se han descubierto, prácticamente todos los países desarrollados están involucrados en la investigación, desarrollo y comercialización de tubos de calor.

En el presente trabajo se ha realizado sólo una síntesis de los principales aspectos relacionados con el tema de los tubos de calor, puesto que éste es muy amplio; especialmente en lo que respecta a los distintos tipos de tubos de calor que se han desarrollado, y a sus múltiples campos de aplicación.

Finalmente, se puede concluir que dadas la versatilidad, flexibilidad, amplio rango de temperaturas de operación y diseño relativamente simple de los tubos de calor, éstos seguirán siendo dispositivos atractivos para el transporte de calor en los más diversos campos, especialmente en el campo de la electrónica, donde los avances tecnológicos implican cada vez más el desarrollo de elementos de alta concentración de energía térmica que es necesario disipar y donde los métodos convencionales no son aplicables.

Bibliografía

- Alario, J. (1984) Monogroove Heat Pipe Radiator Shuttle Flight Experiment, SAE-84-0950.
- Proc. 14th Intersociety Conf. on Environmental Systems, San Diego, CA.
- Basiulis, A. (1976), Follow-up on Heat Pipe Applications. Proc. 2nd Intl. Heat Pipe Conf., Bologna, Italy, pp.473-480.
- Chi, S. W. (1976). Heat pipe theory and practice : a sourcebook. New York , McGraw-Hill.
- Cotter, T.P. (1965), Theory of Heat Pipes. Los Alamos Report N° LA-3246-MS.
- Dunn, P. D. and D. A. Reay (1994) Heat pipes. Oxford, Pergamon.
- Faghri, A. (1993), Temperature Regulation System for the Human Body using Heat Pipes. U.S. Patent 5,269,369, issued Dec. 14, 1993.
- Faghri, A. (1995), Heat pipe science and technology. Washington, Taylor and Francis.
- Gaugler, R. (1944), Heat Transfer Device. U.S. Patent 2350348.
- Grover, G.,T.Cotter and G. Erikson (1964), Structure of Very High Thermal Conductance. J. Appl. Phys., v. 35, pp1990-1991.

Grover, G. (1966), Evaporation-Condensation Heat Transfer Device. U.S. Patent 3229759,

Application filed 2 Dec. 1963, Approved 18 January, 1966.

Ivanovskii, M.N., Sorokin, V.P. and Yagodkin, I.V. (1982), The Physical Principles of Heat Pipes, Clarendon Press, Oxford.

Perkins, J. (1836) UK Patent 7059.

Trefethen, L. (1962) On the Surface Tension Pumping of Liquids or a possible Role of the Candlewick in Space Exploration. G.E. Tech. Info., Serial N° 615 D114.

Vasiliev, L.L., D, Khrustalev, S. Conev and M. Rabetsky (1990) Heat Pipes for Electronic

Equipment Cooling Systems. Proc. 7th Intl. Heat Pipe Conf., Minsk,USSR.

Reay, D. (1977) Heat pipes-A New Diecasting Aid. Proc. 1st National Diecasters Conf., Birmingham Exhibition Centre, UK.

Recursos electrónicos

<www.aguacalientegratis.eu/assets/evacuatedSolarHot>, [Sept. 2007]

<www.images.tomshardware.com/.../ga-p35tdq6_sink.jpg>, [Sept. 2007]

<www.mmsonline.com/mag_images/0503rt2c.jpg>, [Sept. 2007]

<www.wahchang.com/.../11_02_files/image020.jpg>, [Sept. 2007]